

#7
2612

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE



In re Patent Application of

CANINI

Atty. Ref.: 3572-3

Serial No. 09/362,995

Group: 2612

Filed: July 30, 1999

Examiner: Villecco, J.

For: PROCESS FOR REGULATING THE EXPOSURE TIME
OF A LIGHT SENSOR

RECEIVED

JUL 03 2003

Technology Center 2600

Commissioner for Patents
P. O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENTS

Sir:

It is respectfully requested that this application be given the benefit of the foreign filing date under the provisions of 35 U.S.C. §119 of the following, a certified copy of which is submitted herewith:

<u>Application No.</u>	<u>Country of Origin</u>	<u>Filed</u>
98830636.1	EP	23 October 1998

Respectfully submitted,

NIXON & VANDERHYE P.C.

July 1, 2003

By:

H. Warren Burnam, Jr.

Reg. No. 29,366

HWB:lsh
1100 North Glebe Road, 8th Floor
Arlington, VA 22201-4714
Telephone: (703) 816-4000
Facsimile: (703) 816-4100

THIS PAGE BLANK (USPTO)



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

98830636. 1

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 23/09/99
LA HAYE, LE

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.: 98830636.1
Demande n°:

Anmeldetag:
Date of filing: 23/10/98
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
DATALOGIC S.P.A.
I-40012 Lippo di Calderara di Reno (Bologna)
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

Process for regulating the exposure time of a light sensor

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

H04N5/235

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

The title of the application in Italian reads as follows:
Procedimento per la regolazione del tempo di esposizione di un
sensore di luce

THIS PAGE BLANK (USPTO)

- 1 -

Procedimento per la regolazione del tempo di
esposizione di un sensore di luce

DESCRIZIONE

- La presente invenzione si riferisce ad un procedimento per la regolazione del tempo di esposizione di un sensore di luce. Più in particolare, l'invenzione riguarda un procedimento per la regolazione del tempo di esposizione di un sensore di luce al variare della luminosità dell'ambiente di lavoro nel quale il sensore è posizionato.
- 10 Nel seguito della presente descrizione e nelle successive rivendicazioni, con il termine: sensore di luce, si intende indicare un elemento ottico fotosensibile in grado di convertire un segnale luminoso, contenuto in un fascio di luce incidente, in un segnale elettrico analogico
- 15 proporzionale all'intensità luminosa del fascio di luce stesso. In particolare, il sensore di luce trasforma l'immagine luminosa di un oggetto illuminato in una sua immagine elettronica, al fine di consentire lo svolgimento di successive operazioni di elaborazione dell'immagine,
- 20 quali ad esempio quelle connesse alla lettura di un codice ottico presente sull'oggetto.
- Nel seguito, si fa riferimento a sensori di luce di tipo noto, ad esempio sensori a CCD o CMOS, sia lineari che matriciali.
- 25 Come noto, un inconveniente associato ai sensori di luce attualmente disponibili in commercio è correlato al fatto che il loro funzionamento è fortemente influenzato dalle variazioni di luminosità della superficie su cui si trova l'immagine da acquisire (tale superficie può essere più o
- 30 meno chiara e più o meno illuminata). In particolare, la risoluzione dell'immagine acquisita dal sensore (cioè la ricchezza di dettagli rilevati nell'immagine da esso acquisita) varia sensibilmente al variare della luminosità dell'ambiente circostante e della superficie da acquisire:

- 2 -

ambienti molto illuminati possono così creare condizioni di forte sovraesposizione o saturazione (poco contrasto) dell'immagine sul sensore, mentre ambienti poco illuminati possono creare condizioni di forte sottoesposizione (eccessivo buio) dell'immagine sul sensore. In entrambi i casi, l'immagine acquisita dal sensore risulta sfocata e poco nitida, rendendo dunque impossibile la rilevazione di dettagli di modesta dimensione.

In particolare, con riferimento alla lettura di un codice ottico, l'acquisizione sul sensore di una immagine di un codice ottico avente bassa risoluzione risulta spesso indesiderata in quanto rende le successive operazioni di localizzazione, lettura e decodifica del codice stesso alquanto approssimative e grossolane; ciò è addirittura inaccettabile laddove è necessario procedere ad una corretta decodifica del codice in modo da identificare univocamente l'oggetto recante il codice stesso.

Gli inconvenienti associati all'acquisizione di una immagine avente bassa risoluzione possono essere superati regolando opportunamente il tempo di esposizione del sensore in funzione delle variazioni di luminosità dell'ambiente di lavoro circostante e della superficie da acquisire. In particolare, nel caso in cui si verifichi un aumento della luminosità dell'ambiente di lavoro, sarà opportuno impostare sul sensore un tempo di esposizione minore, così da evitare il rischio di generare condizioni di saturazione dell'immagine acquisita; viceversa, nel caso in cui si verifichi una diminuzione di luminosità dell'ambiente di lavoro, sarà opportuno impostare sul sensore un tempo di esposizione maggiore, così da evitare il rischio di generare condizioni di sottoesposizione dell'immagine acquisita.

La maggior parte dei sensori di luce attualmente disponibili in commercio consentono di impostare un tempo di esposizione scegliendolo tra una gamma di valori, più o meno ampia, che differiscono tra loro per salti discreti;

- 3 -

tali valori sono dichiarati dai costruttori dei sensori.

Il problema tecnico che sta alla base della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un procedimento in grado di effettuare, in modo automatico, una regolazione ottimale del tempo di esposizione di un sensore di luce al variare delle condizioni di luminosità ambientale, in modo che l'immagine acquisita dal sensore risulti al tempo stesso ricca di dettagli (cioè ben esposta) e non saturata.

10 La presente invenzione si riferisce pertanto ad un procedimento per la regolazione del tempo di esposizione di un sensore di luce, caratterizzato dal fatto di comprendere le seguenti fasi:

-a) impostare il tempo di esposizione del sensore ad un valore selezionato in un primo intervallo di M valori prefissati definiti tra un valore minimo ed un valore massimo;

-b) acquisire sul sensore un'immagine di un oggetto, tale immagine comprendendo una pluralità di pixel luminosi;

20 -c) analizzare l'immagine acquisita per rilevare il livello di luminosità della stessa;

-d) confrontare il livello di luminosità rilevato con un prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore) rappresentativo di una condizione di sovraesposizione (sottoesposizione) dell'immagine;

25 -e) variare il tempo di esposizione del sensore e ripetere iterativamente le fasi precedenti fino ad individuare un tempo di esposizione ottimale pari al tempo di esposizione più alto (basso), tra quelli impostati, per il quale l'immagine presenta un livello di luminosità minore (maggiore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore).

35 Si tratta dunque di un procedimento di selezione di un tempo di esposizione ritenuto ottimale, e cioè tale da evitare condizioni di forti saturazioni dell'immagine sul sensore in presenza di un aumento della luce ambiente e,

- 4 -

allo stesso tempo, condizioni di sottoesposizione dell'immagine in presenza di una diminuzione della luce ambiente. Vantaggiosamente, l'individuazione del tempo di esposizione ottimale avviene per approssimazioni successive, valutando di volta in volta se l'immagine presenta una caratteristica indesiderata troppo elevata (quale ad esempio l'eccessiva saturazione o sottoesposizione) e variando opportunamente il tempo di esposizione del sensore in modo da non provocare il sorgere di tale caratteristica; è così possibile regolare in tempo reale il sensore di luce in funzione delle variazioni di luminosità dell'ambiente circostante e della superficie da acquisire.

Più in particolare, nel caso in cui la caratteristica valutata sia l'eccessiva saturazione, il tempo di esposizione ottimale individuato è, vantaggiosamente, il tempo di esposizione massimo possibile compatibilmente con l'assenza di condizioni di saturazione dell'immagine; ciò consente di garantire una elevata risoluzione dell'immagine acquisita sul sensore, senza provocare la saturazione della stessa.

Alternativamente, nel caso in cui la caratteristica valutata sia l'eccessiva sottoesposizione, il tempo di esposizione ottimale individuato è, vantaggiosamente, il tempo di esposizione minimo possibile compatibilmente con l'assenza di condizioni di sottoesposizione dell'immagine; ciò consente di evitare il rischio di avere, da un lato, immagini troppo scure e prive di dettagli e, dall'altro lato, immagini mosse (nel caso, ad esempio, in cui il lettore sia di tipo portatile e manuale).

La durata del procedimento dipende dal numero di valori di tempo di esposizione che il sensore può assumere. Vantaggiosamente, da questo insieme di valori si seleziona un intervallo più piccolo di M valori ritenuti particolarmente interessanti; ciò consente di giungere in tempi più rapidi alla fine del processo di determinazione

- 5 -

del tempo esposizione ottimale del sensore.

In accordo con l'invenzione, la fase d) di confronto tra il livello di luminosità rilevato ed il prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore) comprende le seguenti
5 fasi:

-d1) verificare se il livello di luminosità dell'immagine acquisita sia maggiore (minore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore), e:

10 -d11) se tale verifica ha esito positivo, diminuire (aumentare) il tempo di esposizione del sensore e ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da b) fino ad individuare un tempo di esposizione ottimale quando, alternativamente:

15 -d11a) il valore del tempo di esposizione impostato è il valore minimo (massimo) dell'intervallo di valori prefissati;

20 -d11b) il valore del tempo di esposizione impostato è tale per cui l'immagine presenta un livello di luminosità minore (maggiore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore).

Se invece la verifica della fase d1) ha esito negativo, si effettuano le seguenti fasi:

25 -d12) aumentare (diminuire) il tempo di esposizione del sensore e ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da b) fino ad individuare un tempo di esposizione ottimale quando, alternativamente:

-d12a) il valore del tempo di esposizione impostato è il valore massimo (minimo) dell'intervallo di valori prefissati;

30 -d12b) il valore del tempo di esposizione impostato è tale per cui l'immagine presenta un livello di luminosità minore (maggiore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore).

35 La valutazione della presenza o no di condizioni di saturazione o sottoesposizione avviene dunque tramite un algoritmo di calcolo semplice e veloce, sulla base di un

- 6 -

semplice confronto con il prefissato livello di soglia globale.

Preferibilmente, la fase c) di analisi dell'immagine per rilevare il livello di luminosità della stessa comprende le seguenti fasi:

- 5 -c1) generare un segnale rappresentativo del livello di luminosità di ciascun pixel dell'immagine acquisita dal sensore;
- 10 -c2) verificare successivamente se il segnale generato in corrispondenza di un pixel corrente sia maggiore (minore) di un prefissato livello di soglia locale superiore (inferiore) rappresentativo di una condizione di sovraesposizione (sottoesposizione) del pixel analizzato, e:
 - 15 -c21) se tale verifica ha esito positivo, accumulare il contributo del pixel corrente e ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da c2) per i pixel successivi;
 - 20 -c22) se tale verifica ha esito negativo, tralasciare il pixel corrente e ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da c2) per i pixel successivi;
 - 25 -c3) verificare se la somma dei contributi accumulati sia maggiore (minore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore) dell'immagine, nel qual caso effettuare la fase e), altrimenti ripetere le fasi precedenti a partire da c2).

Vantaggiosamente, le suddette fasi consentono di rendere il procedimento dell'invenzione affidabile e robusto. Infatti la valutazione del livello di saturazione (sottoesposizione) dell'immagine è indipendente dalle
30 caratteristiche di luminosità di piccolissime regioni (pixel) dell'immagine; essa avviene invece sulla base dei contributi di tutti i pixel saturanti. Ciò consente di evitare il rischio di valutare il livello di esposizione di tutta l'immagine in funzione del livello di esposizione di
35 una minima porzione della stessa; tale rischio comporterebbe l'impostazione di tempi di esposizione tali

- 7 -

da avere un'acquisizione di immagini indecifrabili, in cui, ad esempio, la regione contenente il codice ottico da leggere sarebbe immersa nel buio mentre le piccole porzioni saturanti (a causa di riflessi, spot luminosi ecc..) sarebbero inutilmente ben esposte.

Preferibilmente, la fase c) di analisi dell'immagine acquisita dal sensore comprende, a sua volta, le seguenti fasi:

- ci) analizzare, in un periodo di tempo "n", l'immagine acquisita dal sensore esposto con un tempo di esposizione T_{n-1} impostato nel tempo "n-1";
- cii) impostare, nel tempo "n", un nuovo tempo di esposizione T_n in modo da acquisire sul sensore una immagine destinata ad essere analizzata nel tempo "n+1" e procedere con le fasi d) ed e);
- ciii) ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da c1).

Una caratteristica tipica dei sensori è quella di presentare un certo ritardo tra il momento in cui viene impostato il tempo di esposizione ed il momento in cui l'immagine acquisita tramite tale impostazione può essere analizzata; ciò comporta un allungamento del tempo necessario a determinare l'esposizione corretta. Vantaggiosamente, l'impostazione di un nuovo tempo di esposizione mentre viene analizzata l'immagine acquisita con il tempo di esposizione precedentemente impostato consente, dunque, di minimizzare il tempo necessario per la determinazione del tempo di esposizione ottimale del sensore.

Preferibilmente, il valore del nuovo tempo di esposizione T_n impostato nella fase cii) è maggiore (minore) del valore T_{n-1} precedentemente impostato. Tale impostazione infatti ha valore di semplice predizione, che potrà dunque essere corretta o errata.

Nel caso in cui la caratteristica valutata sia l'eccessiva

- 8 -

5 saturazione, i tempi impostati in tutte le predizioni sono tempi più lunghi di quello precedentemente impostato, confidando che l'analisi dell'immagine non porti a saturazione; se tale predizione sarà verificata, l'immagine sarà validamente esposta ad un tempo di esposizione corretto, altrimenti sarà necessario diminuire il tempo di esposizione del sensore.

10 In modo del tutto analogo, nel caso in cui la caratteristica valutata sia l'eccessiva sottoesposizione, i tempi impostati in tutte le predizioni sono tempi più corti di quello precedentemente impostato, confidando che l'analisi dell'immagine non porti a sottoesposizione; se tale predizione sarà verificata, l'immagine sarà validamente esposta ad un tempo di esposizione corretto,
15 altrimenti sarà necessario aumentare il tempo di esposizione del sensore.

Preferibilmente, una volta individuato il tempo di esposizione ottimale, si effettuano le seguenti fasi:

- 20 -f) definire un secondo intervallo di valori di tempo di esposizione comprendente Q valori prefissati tra un nuovo valore minimo ed un nuovo valore massimo individuati tra gli M valori del primo intervallo di valori e prossimi al valore del tempo di esposizione ottimale precedentemente individuato;
- 25 -g) ripetere le fasi precedenti a partire da a) fino ad individuare un nuovo tempo di esposizione ottimale;
- h) ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da f) definendo, di volta in volta, intervalli sempre più ristretti di valori di tempi di esposizione prossimi al
30 tempo di esposizione ottimale precedentemente individuato.

È dunque possibile, soprattutto quando si ha del tempo a disposizione per la determinazione del tempo di esposizione ottimale, reiterare a piacere il procedimento dell'invenzione allo scopo di ricercare un valore di tempo
35 di esposizione ottimale sempre più accurato. Il numero di reiterazioni effettuabili dipende dal tempo che si ha a

- 9 -

disposizione.

In accordo con una forma di attuazione preferita del procedimento della presente invenzione, il tempo necessario per la individuazione del tempo di esposizione ottimale può
5 essere notevolmente ridotto qualora l'analisi dell'immagine acquisita dal sensore venga effettuata solo su una porzione limitata dell'immagine stessa. È possibile dunque, a parità di tempo, effettuare più reiterazioni del procedimento dell'invenzione, ottenendo così una
10 esposizione sempre più accurata dell'immagine acquisita dal sensore.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del procedimento della presente invenzione risulteranno meglio dalla seguente descrizione dettagliata di alcune forme di attuazione
15 preferite, fatta con riferimento ai disegni allegati. In tali disegni,

- la figura 1 mostra un diagramma di flusso di una prima forma di attuazione del procedimento della presente invenzione;
- 20 - la figura 2 mostra un diagramma di flusso relativo ad un esempio numerico del procedimento rappresentato in figura 1;
- la figura 3 mostra un diagramma di flusso relativo ad un esempio numerico di una forma di attuazione preferita
25 del procedimento rappresentato in figura 1;
- la figura 4 mostra un diagramma di flusso relativo ad un esempio numerico di una seconda forma di attuazione del procedimento della presente invenzione;
- la figura 5 mostra un diagramma di flusso relativo ad
30 un esempio numerico di una forma di attuazione preferita del procedimento rappresentato in figura 4;
- la figura 6 mostra schematicamente un circuito per la generazione di un segnale di confronto impiegato nel procedimento della presente invenzione.

35 Il procedimento dell'invenzione consente la determinazione, per approssimazioni successive, di un tempo di esposizione

- 10 -

ottimale in funzione delle variazioni di luminosità della superficie su cui si trova l'immagine da acquisire e dell'ambiente nel quale il sensore di luce è posizionato (ad esempio un sensore a CCD o CMOS, sia lineare che
5 matriciale).

Il procedimento inizia con l'impostazione nel sensore di un tempo di esposizione iniziale pari ad un valore selezionato in un primo intervallo di M valori prefissati definiti tra un valore minimo ed un valore massimo. Vantaggiosamente,
10 gli M valori sono un sottoinsieme, ritenuto particolarmente interessante, dell'insieme di valori di tempo di esposizione impostabili per il sensore in questione ed indicati dal costruttore. Negli esempi riportati nelle figure allegate, i valori di tempo di esposizione
15 selezionati sono otto e sono, in frazioni di secondo: 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/4000.

Una volta impostato un tempo di esposizione iniziale, viene acquisita dal sensore una immagine di un oggetto illuminato, ad esempio, un oggetto recante un codice ottico
20 da leggere. Tale immagine viene analizzata tramite un semplice algoritmo di calcolo al fine di determinare il livello di luminosità della stessa e confrontarlo con un prefissato livello di soglia globale superiore o inferiore, rappresentativo di una caratteristica indesiderata
25 dell'immagine, ad esempio, una condizione di sovraesposizione (saturazione) o sottoesposizione dell'immagine sul sensore.

In particolare, in base all'esito del suddetto confronto, il tempo di esposizione viene regolato su un valore
30 differente opportunamente scelto ed il procedimento viene reiterato in modo da individuare, dopo un certo numero di iterazioni, un tempo di esposizione ottimale.

La logica di ricerca del tempo di esposizione ottimale attuata dall'algoritmo di calcolo dell'invenzione è quella
35 di individuare, per approssimazioni successive, il tempo di

- 11 -

esposizione per cui si verifica la presenza della condizione indesiderata e, successivamente, di impostare quale tempo ottimale il valore di tempo più prossimo a quello individuato, per il quale l'immagine acquisita non
5 presenti la caratteristica indesiderata.

Più in particolare, nel caso in cui il livello di soglia globale scelto è un segnale rappresentativo di una condizione di eccessiva sovraesposizione (saturazione) dell'immagine acquisita dal sensore, l'algoritmo verifica
10 ad ogni iterazione se il livello di luminosità dell'immagine acquisita sia maggiore del suddetto livello di soglia (in tal caso sarà un livello di soglia superiore). Se tale verifica ha esito positivo, significa che l'immagine sul sensore esposto con quel determinato
15 tempo di esposizione risulta essere sovraesposta, per cui viene impostato un tempo di esposizione minore e si ripete iterativamente il confronto per il nuovo tempo di esposizione impostato. L'iterazione del procedimento prosegue alla ricerca del tempo di esposizione ottimale e
20 termina quando il tempo di esposizione impostato è il più alto, fra quelli impostati nelle varie iterazioni, per il quale l'immagine presenta un livello di luminosità minore del prefissato livello di soglia globale superiore o, alternativamente, quando il valore del tempo di esposizione
25 impostato è il valore minimo dell'intervallo di M valori prefissati.

Se invece la suddetta verifica ha esito negativo, significa che l'immagine sul sensore esposto con quel determinato tempo di esposizione non risulta sovraesposta, per cui si
30 imposta un tempo di esposizione maggiore e si ripete iterativamente il confronto per il nuovo tempo di esposizione impostato. L'iterazione del procedimento prosegue alla ricerca del tempo di esposizione ottimale e termina quando il tempo di esposizione impostato è il più
35 alto, fra quelli impostati nelle varie iterazioni, per il quale l'immagine presenta un livello di luminosità minore

- 12 -

del prefissato livello di soglia globale superiore o, alternativamente, quando il valore del tempo di esposizione impostato è il valore massimo dell'intervallo di M valori prefissati.

- 5 La figura 2 mostra un esempio di attuazione del metodo sopra descritto. In tale figura con SAT si indica la presenza di saturazione, mentre con $\overline{\text{SAT}}$ si indica la assenza di saturazione. Si noti come l'algoritmo porta alla determinazione del tempo di esposizione ottimale in
10 quattro iterazioni e tale tempo è il tempo di esposizione più lungo possibile compatibilmente con la non saturazione dell'immagine.

- La figura 1 mostra un diagramma di flusso esemplificativo del procedimento sopra descritto. Ad ogni tempo di
15 esposizione prefissato è associato un indice (indice_TE) variabile rispettivamente da 0 a M-1 (l'indice 0 è associato al più lungo tempo di esposizione, mentre l'indice M-1 è associato al più breve tempo di esposizione), dove M è una potenza di 2 ed è pari al numero
20 di valori di tempo di esposizione prefissati (negli esempi riportati M=8).

- Le considerazioni di cui sopra risultano applicabili in modo duale al caso in cui il livello di soglia globale scelto è un segnale rappresentativo di una condizione di
25 eccessiva sottoesposizione dell'immagine acquisita dal sensore (si veda la figura 4). In tal caso si verifica ad ogni iterazione se il livello di luminosità dell'immagine acquisita sia minore del suddetto livello di soglia (questa volta sarà un livello di soglia inferiore). Se tale
30 verifica ha esito positivo, significa che l'immagine sul sensore esposto con quel determinato tempo di esposizione risulta essere sottoesposta, per cui si imposta un tempo di esposizione maggiore e si ripete iterativamente il confronto per il nuovo tempo di esposizione impostato.
35 L'iterazione del procedimento prosegue alla ricerca del tempo di esposizione ottimale, e termina quando il tempo di

- 13 -

esposizione impostato è il più basso, fra quelli impostati nelle varie iterazioni, per il quale l'immagine presenta un livello di luminosità maggiore del prefissato livello di soglia globale inferiore o, alternativamente, quando il
5 valore del tempo di esposizione impostato è il valore massimo dell'intervallo di M valori prefissati.

Se invece la suddetta verifica ha esito negativo, significa che l'immagine sul sensore esposto con quel determinato tempo di esposizione non risulta sottoesposta, per cui si
10 imposta un tempo di esposizione minore e si ripete iterativamente il confronto per il nuovo tempo di esposizione impostato. L'iterazione del procedimento prosegue alla ricerca del tempo di esposizione ottimale e termina quando il tempo di esposizione impostato è il più
15 basso, fra quelli impostati nelle varie iterazioni, per il quale l'immagine presenta un livello di luminosità minore del prefissato livello di soglia globale superiore o, alternativamente, quando il valore del tempo di esposizione impostato è il valore minimo dell'intervallo di M valori
20 prefissati.

La figura 4 mostra un esempio di attuazione del metodo sopra descritto. In tale figura con UNDER EXP si indica la presenza di sottoesposizione, mentre con UNDER EXP si indica l'assenza di sottoesposizione. Si noti come anche
25 in questo caso l'algoritmo porta alla determinazione del tempo di esposizione ottimale in quattro iterazioni e tale tempo è il tempo di esposizione più breve possibile compatibilmente con la non sottoesposizione dell'immagine.

Allo scopo di rendere il procedimento dell'invenzione affidabile e robusto, la valutazione del livello di saturazione (o sottoesposizione) dell'immagine avviene analizzando i livelli di luminosità di una pluralità di pixel formanti la suddetta immagine. In particolare, l'analisi dell'immagine luminosa prevede dapprima la
30 generazione di un segnale rappresentativo del livello di luminosità di ciascuno dei pixel che formano la suddetta
35

- 14 -

immagine e, successivamente, un confronto della luminosità dei singoli pixel con un prefissato livello di soglia locale rappresentativo di una condizione di saturazione (o sottoesposizione) degli stessi. Ogni qualvolta si verifica
5 che il segnale relativo al pixel correntemente analizzato è maggiore (minore) del prefissato livello di soglia locale, si accumula il contributo di tale pixel su un elemento di memorizzazione e si passa all'analisi del pixel successivo fino al quando la somma dei contributi memorizzati supera
10 il prefissato livello di soglia globale. Altrimenti, se dopo aver analizzato tutti i pixel dell'immagine non si supera la soglia globale, si considera di non avere saturazione (o sottoesposizione).

La figura 6 mostra un circuito per la generazione di un
15 segnale destinato a comandare il cambio del tempo di esposizione a causa della presenza di eccessiva saturazione o sottoesposizione. Si tratta essenzialmente di due circuiti comparatori comprendenti un generatore di tensione Vcc, una resistenza R ed un condensatore C destinato ad
20 accumulare una determinata carica ogni volta che si verifica la saturazione di un pixel. In tale figura, con VIDEO si indica un segnale elettrico proporzionale al livello di luminosità del pixel corrente, con Soglia_locale il segnale elettrico proporzionale al livello di soglia di
25 luminosità indesiderata di un pixel e con Soglia_globale il segnale elettrico proporzionale al livello di soglia di luminosità indesiderata dell'intera immagine.

Il segnale VIDEO di ogni singolo pixel viene confrontato con il livello di soglia locale prefissato e, ogni volta
30 che tale segnale VIDEO è maggiore del suddetto livello di soglia locale indesiderato, si accumula carica nel condensatore C. Quando la tensione ai capi del condensatore supera il livello di soglia globale indesiderato, si genera il segnale SAT (o UNDER EXP) che
35 sta ad indicare la presenza di eccessiva saturazione (o sottoesposizione) nell'immagine e, dunque, la necessità di

- 15 -

impostare un tempo di esposizione differente. Ogni volta che si imposta un tempo di esposizione differente si resetta la carica accumulata nel condensatore C per procedere all'analisi dell'immagine acquisita con il nuovo
5 tempo di esposizione appena impostato.

Il dimensionamento della resistenza R e del condensatore C e la scelta del livello di soglia globale equivalgono a considerare che si ha saturazione (o sottoesposizione) solo quando una certa percentuale dei pixel dell'immagine vanno
10 in saturazione (o sottoesposizione). Quindi, una volta fissati R e C, variando il livello di soglia globale si seleziona la percentuale di pixel che devono saturare (o che devono risultare sottoesposti) per portare ad una riduzione (o, nel caso di sottoesposizione, ad un aumento)
15 del tempo di esposizione del sensore.

In una forma di attuazione del procedimento della presente invenzione, si tiene conto del fatto che tutti i sensori presentano un certo ritardo tra il momento in cui viene impostato il tempo di esposizione ed il momento in cui
20 l'immagine acquisita tramite tale impostazione può essere analizzata. Ciò comporta un allungamento del tempo necessario per la determinazione del tempo di esposizione ottimale.

Il procedimento dell'invenzione prevede, vantaggiosamente, l'impostazione di un nuovo tempo di esposizione T_n in un periodo di tempo "n" mentre viene analizzata l'immagine acquisita con il tempo di esposizione T_{n-1} impostato in un periodo di tempo precedente "n-1", (si vedano le figure 3 e 4, dove in ogni cerchio, il valore in alto indica il tempo
30 di esposizione impostato correntemente (il cui effetto sarà disponibile nel successivo periodo), mentre il valore in basso indica il tempo di esposizione impostato nel periodo precedente ed analizzato correntemente).

Di conseguenza, la decisione di cambiare il tempo di
35 esposizione del sensore è fatta in un determinato periodo

- 16 -

"n" analizzando l'immagine acquisita con un tempo di esposizione T_{n-1} impostato nel periodo "n-1" precedente. Al fine di minimizzare il tempo complessivo per la determinazione del tempo di esposizione ottimale, in tale periodo "n" viene impostato sul sensore un nuovo tempo di esposizione T_n destinato a produrre un'immagine da analizzare in un periodo successivo "n+1". Il valore del nuovo tempo di esposizione T_n impostato ha valore di semplice predizione, che potrà dunque essere corretta o errata.

Nel caso in cui la caratteristica valutata sia l'eccessiva saturazione, i tempi impostati in tutte le predizioni sono tempi più lunghi di quello precedentemente impostato, confidando che l'analisi dell'immagine non porti a saturazione; se tale predizione sarà verificata, l'immagine sarà validamente esposta ad un tempo di esposizione corretto, altrimenti sarà necessario diminuire il tempo di esposizione del sensore.

In modo del tutto analogo, nel caso in cui la caratteristica valutata sia l'eccessiva sottoesposizione, i tempi impostati in tutte le predizioni sono tempi più corti di quello precedentemente impostato, confidando che l'analisi dell'immagine non porti a sottoesposizione; se tale predizione sarà verificata, l'immagine sarà validamente esposta ad un tempo di esposizione corretto, altrimenti sarà necessario aumentare il tempo di esposizione del sensore.

Le figure 3 e 4 mostrano con bordatura più spessa gli stadi finali del procedimento in cui sono stati individuati i tempi di esposizione ottimali. Si può notare come, nel caso migliore di predizioni tutte corrette, il risultato finale è disponibile dopo solo quattro esposizioni, mentre nel caso peggiore di predizioni tutte errate, ne occorrono otto; probabilisticamente, è calcolabile che in media si giunge alla determinazione del tempo di esposizione ottimale con sei esposizioni.

- 17 -

In accordo con una forma di attuazione preferita del procedimento della presente invenzione, qualora si abbia sufficiente tempo a disposizione per la determinazione del tempo di esposizione ottimale, è possibile, una volta
5 individuato un tempo di esposizione ottimale tra gli M valori prefissati, reiterare a piacere il procedimento alla ricerca di un nuovo tempo di esposizione ottimale più accurato. Tale ricerca viene condotta selezionando un
10 secondo intervallo di Q valori prefissati di tempo di esposizione tra un nuovo valore minimo ed un nuovo valore massimo e prossimi al tempo di esposizione ottimale precedentemente individuato.

Ad esempio, si supponga di avere determinato come tempo di esposizione ottimale 1/500 (indice_{TE}=4) tra gli otto
15 valori sopra indicati; si può allora definire un nuovo intervallo di 8 valori di tempo di esposizione prossimi a 1/500 tra i quali andare a ricercare un tempo di esposizione più accurato. Ad esempio, si possono
20 selezionare quali nuovo valore minimo e nuovo valore massimo del nuovo intervallo rispettivamente 1/1000 e 1/250 e, in analogia con i valori prefissati per la prima ricerca, i nuovi valori di tempo di esposizione prefissati sarebbero i seguenti:

Tempo di Esposizione (s)	Indice associato
1/1000	7
1/750	6
1/625	5
1/500	4
1/437	3
1/375	2
1/312	1
1/250	0

25

Questo procedimento può essere reiterato a piacere a secondo del tempo a disposizione per ottenere una immagine ben esposta.

- 18 -

L'allungamento del tempo per la determinazione del tempo di esposizione ottimale dovuto alla reiterazione del procedimento può essere contenuto qualora, invece di analizzare l'intera immagine per stabilire se si è in
5 presenza di saturazione (o sottoesposizione), si limita tale analisi ad una porzione limitata della stessa.

I sensori più sofisticati consentono infatti di analizzare una porzione di sensore dimensionabile a piacere; il tempo per l'analisi di tale porzione dipende da quanto essa è
10 grande e comunque è inferiore rispetto a quello necessario per l'analisi dell'intera immagine. Con tali sensori è dunque possibile, a parità di tempo, effettuare più reiterazioni del procedimento dell'invenzione, ottenendo così una esposizione sempre più accurata dell'immagine
15 acquisita dal sensore.

- 19 -

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per la regolazione del tempo di esposizione di un sensore di luce, caratterizzato dal fatto di comprendere le seguenti fasi:

- 5 -a) impostare il tempo di esposizione del sensore ad un valore selezionato in un primo intervallo di valori definito tra un valore minimo ed un valore massimo e comprendente M valori prefissati;
- b) acquisire sul sensore un'immagine di un oggetto, tale
10 immagine comprendendo una pluralità di pixel;
- c) analizzare l'immagine acquisita per rilevare il livello di luminosità della stessa;
- d) confrontare il livello di luminosità rilevato con un prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore)
15 rappresentativo di una condizione di sovraesposizione (sottoesposizione) dell'immagine;
- e) variare il tempo di esposizione del sensore e ripetere iterativamente le fasi precedenti fino ad individuare un tempo di esposizione ottimale pari al tempo di esposizione
20 più alto (basso), tra quelli impostati, per il quale l'immagine presenta un livello di luminosità minore (maggiore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore).

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui la
25 fase d) di confronto tra il livello di luminosità rilevato ed il livello di soglia globale superiore (inferiore) comprende le seguenti fasi:

- d1) verificare se il livello di luminosità dell'immagine acquisita sia maggiore (minore) del prefissato livello di
30 soglia globale superiore (inferiore), e:

-d11) se tale verifica ha esito positivo, diminuire (aumentare) il tempo di esposizione del sensore e ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da b) fino ad individuare un tempo di esposizione ottimale quando,
35 alternativamente:

-d11a) il valore del tempo di esposizione impostato

- 20 -

è il valore minimo (massimo) dell'intervallo di valori prefissati;

5 -d11b) il valore del tempo di esposizione impostato è tale per cui l'immagine presenta un livello di luminosità minore (maggiore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2, in cui, se la verifica della fase d1) ha esito negativo, si effettuano le seguenti fasi:

10 -d12) aumentare (diminuire) il tempo di esposizione del sensore e ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da b) fino ad individuare un tempo di esposizione ottimale quando, alternativamente:

15 -d12a) il valore del tempo di esposizione impostato è il valore massimo (minimo) dell'intervallo di valori prefissati;

20 -d12b) il valore del tempo di esposizione impostato è tale per cui l'immagine presenta un livello di luminosità minore (maggiore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore).

4. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui la fase c) di analisi dell'immagine per rilevare il livello di luminosità della stessa comprende le seguenti fasi:

25 -c1) generare un segnale rappresentativo del livello di luminosità di ciascun pixel dell'immagine acquisita dal sensore;

30 -c2) verificare successivamente se il segnale generato in corrispondenza di un pixel corrente sia maggiore (minore) di un prefissato livello di soglia locale superiore (inferiore) rappresentativo di una condizione di sovraesposizione (sottoesposizione) del pixel analizzato, e:

35 -c21) se tale verifica ha esito positivo, accumulare il contributo del pixel corrente e ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da c2) per i pixel successivi;

 -c22) se tale verifica ha esito negativo, tralasciare

- 21 -

il pixel corrente e ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da c2) per i pixel successivi;

-c3) verificare se la somma dei contributi accumulati sia maggiore (minore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore) dell'immagine, nel qual caso effettuare la fase e), altrimenti ripetere le fasi precedenti a partire da c2).

5. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui la fase c) di analisi dell'immagine acquisita dal sensore comprende, a sua volta, le seguenti fasi:

-ci) analizzare, in un periodo di tempo "n", l'immagine acquisita dal sensore esposto con un tempo di esposizione T_{n-1} impostato nel tempo "n-1";

-cii) impostare, nel tempo "n", un nuovo tempo di esposizione T_n in modo da acquisire sul sensore una immagine destinata ad essere analizzata nel tempo "n+1" e procedere con le fasi d) ed e);

-ciii) ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da c1).

6. Procedimento secondo la rivendicazione 5, in cui il valore del nuovo tempo di esposizione T_n impostato nella fase cii) è maggiore (minore) del valore T_{n-1} precedentemente impostato.

7. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui, una volta individuato il tempo di esposizione ottimale, si effettuano le seguenti fasi:

-f) definire un secondo intervallo di valori di tempo di esposizione comprendente Q valori prefissati tra un nuovo valore minimo ed un nuovo valore massimo individuati tra gli M valori del primo intervallo di valori e prossimi al valore del tempo di esposizione ottimale precedentemente individuato;

-g) ripetere le fasi precedenti a partire da a) fino ad individuare un nuovo tempo di esposizione ottimale;

-h) ripetere iterativamente le fasi precedenti a partire da f) definendo, di volta in volta, intervalli sempre più

- 22 -

ristretti di valori di tempi di esposizione prossimi al tempo di esposizione ottimale precedentemente individuato.

8. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui l'analisi dell'immagine acquisita dal sensore viene
5 effettuata su una porzione limitata dell'immagine stessa.

- 23 -

RIASSUNTO

L'invenzione riguarda un procedimento per la regolazione del tempo di esposizione di un sensore di luce, caratterizzato dal fatto di comprendere le seguenti fasi:

- 5 -a) impostare il tempo di esposizione del sensore ad un valore selezionato in un primo intervallo di M valori prefissati definiti tra un valore minimo ed un valore massimo;
- b) acquisire sul sensore un'immagine di un oggetto, tale
10 immagine comprendendo una pluralità di pixel luminosi;
- c) analizzare l'immagine acquisita per rilevare il livello di luminosità della stessa;
- d) confrontare il livello di luminosità rilevato con un prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore)
15 rappresentativo di una condizione di sovraesposizione (sottoesposizione) dell'immagine;
- e) variare il tempo di esposizione del sensore e ripetere iterativamente le fasi precedenti fino ad individuare un tempo di esposizione ottimale pari al tempo di esposizione
20 più alto (basso), tra quelli impostati, per il quale l'immagine presenta un livello di luminosità minore (maggiore) del prefissato livello di soglia globale superiore (inferiore).

25

(Fig. 1)

1/4

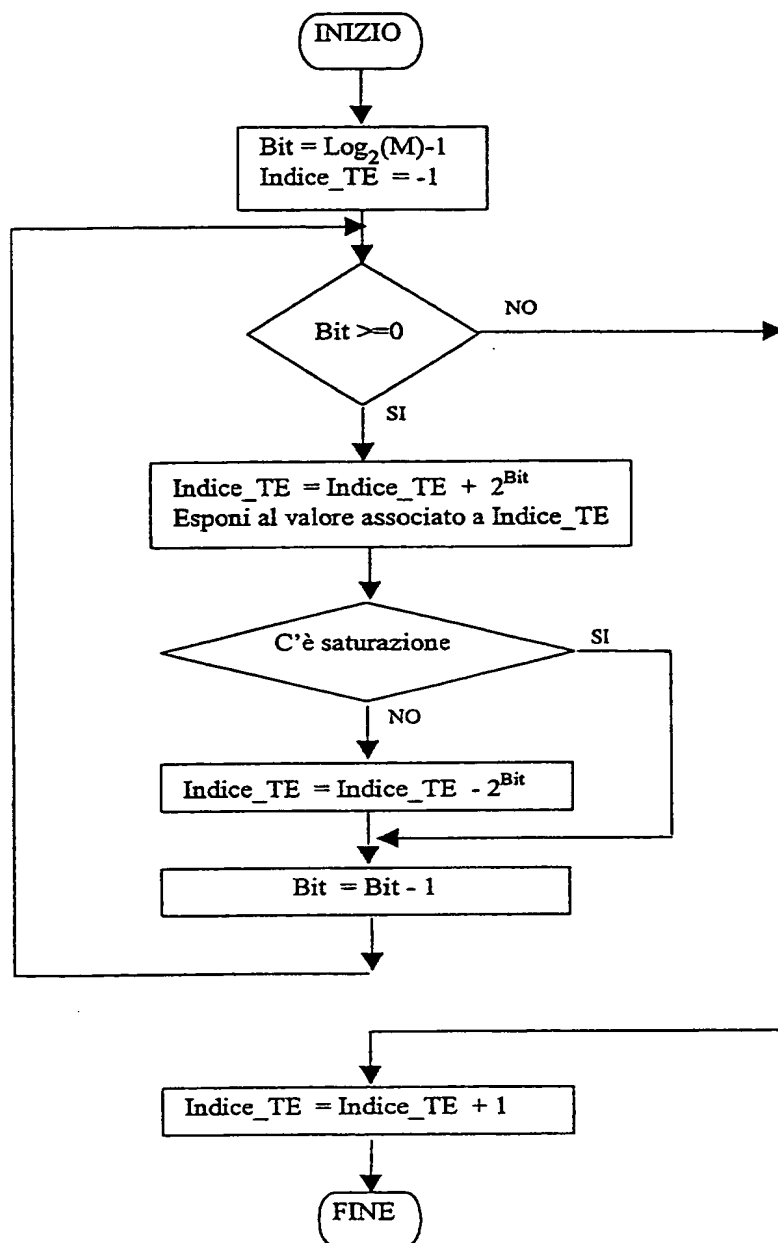


Fig. 1

```

graph LR
    Root((1/250)) -- SAT --> N1000((1/1000))
    Root -- SAT --> N60((1/60))
    N1000 -- SAT --> N2000((1/2000))
    N1000 -- SAT --> N500((1/500))
    N60 -- SAT --> N125((1/125))
    N60 -- SAT --> N30((1/30))
    N2000 -- SAT --> N4000((1/4000))
    N2000 -- SAT --> N2000_2((1/2000))
    N500 -- SAT --> N1000_2((1/1000))
    N500 -- SAT --> N500_2((1/500))
    N125 -- SAT --> N250((1/250))
    N125 -- SAT --> N125_2((1/125))
    N30 -- SAT --> N60_2((1/60))
    N30 -- SAT --> N30_2((1/30))
    N4000 --- TE7[Indice_TE = 7]
    N2000_2 --- TE6[Indice_TE = 6]
    N1000_2 --- TE5[Indice_TE = 5]
    N500_2 --- TE4[Indice_TE = 4]
    N250 --- TE3[Indice_TE = 3]
    N125_2 --- TE2[Indice_TE = 2]
    N60_2 --- TE1[Indice_TE = 1]
    N30_2 --- TE0[Indice_TE = 0]
  
```

Fig. 2

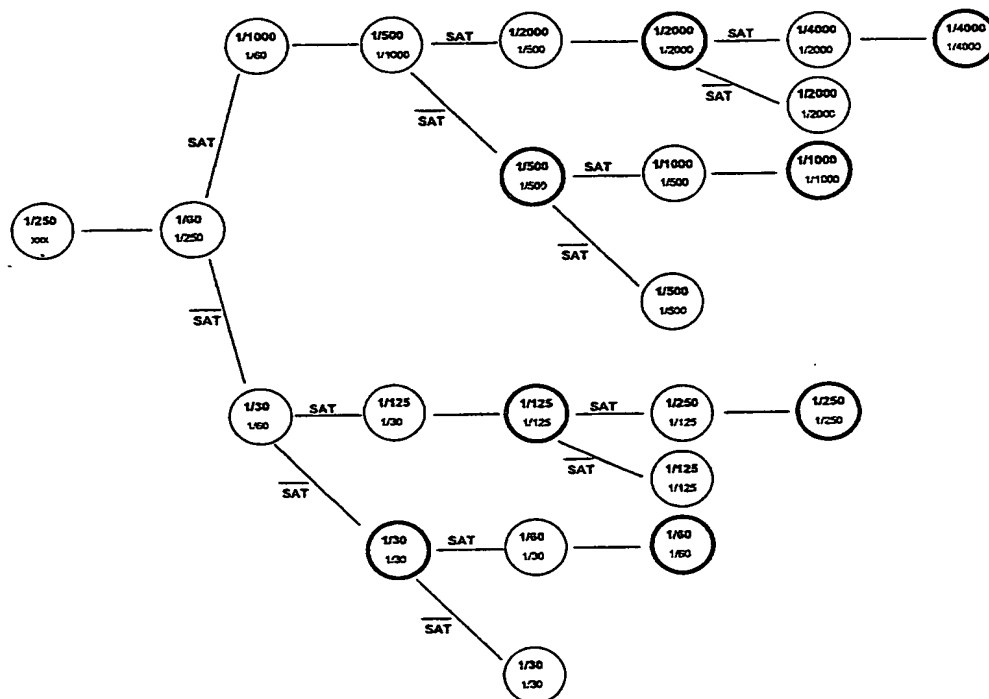


Fig. 3

3/4

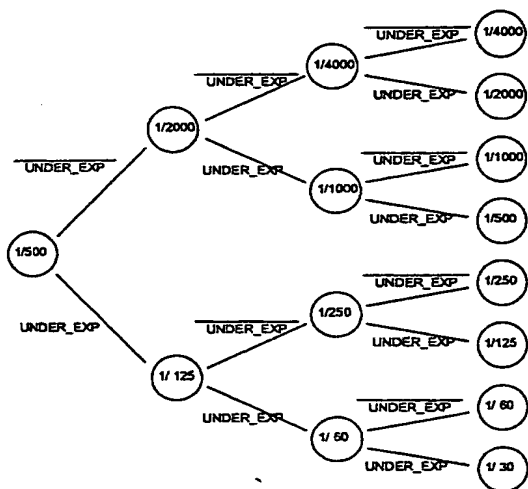


Fig. 4

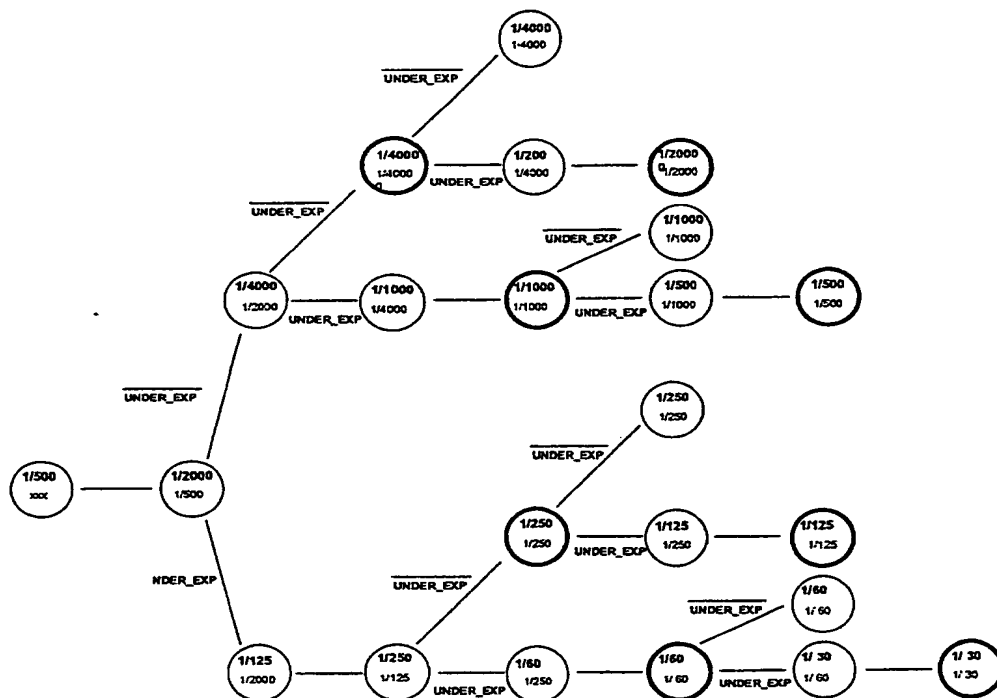


Fig. 5

4/4

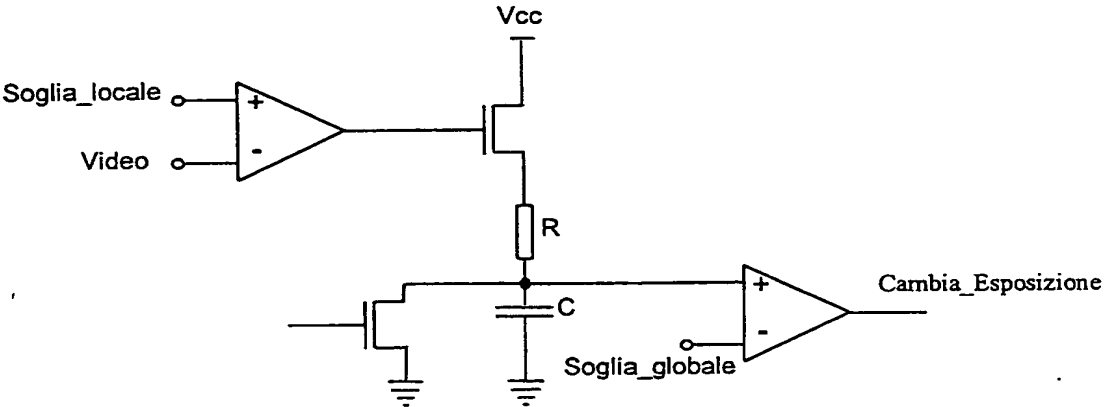


Fig. 6

DECLARATION

I, Paolo Castiglia, domiciled in Viale Sabotino 19/2 - 20135 Milano (Italy), do hereby declare that I'm conversant with the Italian and English languages and that the following is a true translation made by me of the accompanying certified copy of the European Patent Application No. 98830636.1.

Paolo Castiglia

Milan, September 30, 1999

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**Process for regulating the exposure time of a light
sensor**

DESCRIPTION

The present invention relates to a process for regulating
5 the exposure time of a light sensor. More particularly,
the invention relates to a process for regulating the
exposure time of a light sensor according to the variation
of luminosity in the work environment in which the sensor
is located.

10 Throughout the present description and the attached claims,
with the term: "light sensor", it is intended to indicate a
light-sensitive optical element capable of converting a
light signal, contained in a incident light beam, in an
analogic electrical signal proportional to the light
15 intensity of the light itself. In particular, the light
sensor transforms the light image of an illuminated object
into an electronic image thereof, in order to allow the
carrying out of further operations of image processing,
such as for example those connected to the reading of an
20 optical code located on the object.

In the following, reference to light sensors of known type
will be made, for example CCD or CMOS sensors, both linear
and of matrix type.

As is known, a drawback associated with light sensors at
25 present available on the market is correlated to the fact
that their operation is strongly influenced by the
variations in luminosity of the surface on which the image
to be acquired is to be found (such surface can be more or
less clear and more or less illuminated). In particular,
30 the resolution of the image acquired by the sensor (that is
the richness of details detected in the image acquired by
it) considerably varies according to the variation of the
luminosity of the surrounding environment and of the
surface to be acquired: highly illuminated environments can

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

as such create conditions of strong overexposure or saturation (little contrast) of the image on the sensor, whilst badly illuminated environments can create conditions of strong under-exposure (excessive dark) in the image on the sensor. In both cases, the image acquired by the sensor appears badly exposed and not very clear, therefore making it impossible to detect details having small sizes.

In particular, with reference to the reading of an optical code, the acquisition on the sensor of an image of an optical code having a low resolution is often undesired because it renders the subsequent operations of localization, reading and decoding of the code itself very approximate and rough; this is absolutely unacceptable where it is necessary to carry out a correct decoding of the code in order to unequivocally identify the object having the code thereon.

The drawbacks associated with the acquisition of an image having low resolution can be overcome by suitably regulating the exposure time of the sensor according to the variations of luminosity of the surrounding work environment and of the surface to be acquired. In particular, where an increase in luminosity occurs in the work environment, it would be advisable to set a shorter exposure time on the sensor, in order to avoid the risk of generating conditions of saturation of the acquired image; viceversa, in the case where a decrease in luminosity occurs in the work environment, it would be advisable to set a higher exposure time on the sensor, in order to avoid the risk of generating conditions of under-exposure of the acquired image.

The majority of light sensors at present available on the market allow to set an exposure time by choosing it between a range of values, more or less extensive, each differing the one from the other by discrete amounts; such values are stated by the manufacturers of the sensors.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

The technical problem at the basis of this invention is that of making available a process which is able to carry out, automatically, an optimal regulation of the exposure time of a light sensor according to the variations of environmental luminosity conditions, so that the image acquired by the sensor is at the same time rich in details (that is, it is well exposed) and not saturated.

The present invention therefore relates to a process for regulating the exposure time of a light sensor, characterized in that it comprises the following steps:

- a) setting the exposure time of the sensor to a value selected in a first range of M prefixed values defined between a minimum value and a maximum value;
- b) acquiring the image of an object onto the sensor, such image comprising a plurality of luminous pixels;
- c) analyzing the image acquired for detecting the level of luminosity of the same;
- d) comparing the detected level of luminosity with a prefixed higher (lower) global threshold level representative of a condition of overexposure (under-exposure) of the image;
- e) varying the exposure time of the sensor and iteratively repeating the previous steps until an optimum exposure time equal to a higher (lower) exposure time is found, among the ones set, for which the image presents a level of luminosity smaller (greater) than the prefixed higher (lower) global threshold level.

We are talking therefore about a process for selecting an exposure time which is thought to be optimum, and that is which avoids conditions of strong saturation of the image on the sensor in the presence of an increase of the environmental light and, at the same time, conditions of under-exposure of the image in the presence of a decrease of environmental light. Advantageously, finding the right exposure time occurs by successive approximation, each time evaluating whether the image presents an undesired

THIS PAGE BLANK (USPTO)

characteristic which results to be too much elevated (such as for example the excessive saturation or under-exposure) and suitably varying the exposure time of the sensor so as not to provoke the arise of such characteristic; it is
5 therefore possible to regulate in real time the light sensor according to the variations of luminosity of the surrounding environmental and of the surface to be acquired.

More in particular, where the characteristic evaluated is
10 the excessive saturation, the optimum exposure time found is, advantageously, the maximum possible exposure time compatible with the absence of conditions of saturation of the image; this allows to assure an elevated resolution of the image acquired on the sensor, without provoking its
15 saturation.

In alternative, where the characteristic evaluated is the excessive under-exposure, the optimum exposure time found is, advantageously, the minimum possible exposure time compatible with the absence of conditions of under-exposure
20 of the image; this allows to avoid the risk of having, on one side, images which are too dark and without details and, on the other side, blurred images (for example, in the case in which the reader is of a portable or manual type).

The duration of the process depends on the number of values
25 of exposure time which the sensor can assume. Advantageously, from this set of values a smaller range of M values is chosen, which are thought to be particularly interesting; this allows the end of the process of determination of the optimum exposure time of the sensor to
30 be reached quicker.

In accordance with the invention, step d) of comparison between the detected level of luminosity and the prefixed higher (lower) global threshold level comprises the following steps:

THIS PAGE BLANK (uspto)

-d1) verifying if the level of luminosity of the acquired image is greater (smaller) than the prefixed higher (lower) global threshold level, and:

5 -d11) if such verification has a positive result, decreasing (increasing) the exposure time of the sensor and iteratively repeating the previous steps starting from b) until an optimum exposure time is found when, alternatively:

10 -d11a) the value of the exposure time set is the minimum (maximum) of the range of prefixed values;

 -d11b) the value of the exposure time set is such that the image presents a level of luminosity smaller (greater) than the prefixed higher (lower) global threshold level.

15 On the contrary, if the verification of step d1) has a negative result, the following steps are carried out:

 -d12) increasing (decreasing) the exposure time of the sensor and iteratively repeating the previous steps starting from b) until an optimum exposure time is found when, alternatively:

20 -d12a) the value of the exposure time set is the maximum (minimum) of the range of prefixed values;

 -d12b) the value of the exposure time set is such that the image presents a level of luminosity smaller (greater) than the prefixed higher (lower) global threshold level.

25 The estimation of the presence or not of conditions of saturation or under-exposure occurs therefore by means of a simple and fast algorithm of calculation, based on a simple comparison with the prefixed global threshold level.

30 Preferably, step c) of analyzing the image for detecting the level of luminosity of the same comprises the following steps:

 -c1) generating a signal representative of the level of luminosity of each pixel of the image acquired by the sensor;

35 -c2) verifying subsequently if the signal generated in

THIS PAGE IS A PHOTO COPY

correspondence of a current pixel is greater (smaller) than a prefixed higher (lower) local threshold level representative of a condition of overexposure (under-exposure) of the analyzed pixel, and;

5 -c21) if such verification has a positive result, accumulating the contribution of each current pixel and iteratively repeating the previous steps starting from c2) for the following pixels;

10 -c22) if such verification has a negative result, releasing the current pixel and iteratively repeating the previous steps starting from c2) for the following pixels;

15 -c3) verifying if the sum of the contributions accumulated is greater (smaller) than the prefixed higher (lower) global threshold level of the image, in such case carrying out step e), otherwise repeating the previous steps starting from c2).

Advantageously, the above mentioned steps allows to make the process of the invention reliable and robust. In fact, the evaluation of the level of saturation (under-exposure) of the image is independent from the characteristics of luminosity of smallest regions (pixels) of the image; on the contrary it happens on the basis of the contributions of all of the saturating pixels. This allows to avoid the risk of evaluating the level of exposure of all the image according to the level of exposure of a small portion of it; such risk would mean the setting of exposure times which would be such that they lead to an acquisition of undecodable images, in which, for example, the region containing the optical code to be read would be immersed in the darkness while the small saturating portions (due to reflections, luminous spots etc...) would be uselessly well exposed.

Preferably, step c) of analyzing the image acquired by the sensor comprises, in turn, the following steps:

35 -ci) analyzing, in a period of time "n", the image acquired by the sensor exposed with an exposure time T_{n-1}

THIS PAGE BLANK (USPTO)

set in the time "n-1";

-cii) setting, in the time "n", a new exposure time T_n in order to acquire on the sensor an image which is destined to be analyzed in the time "n+1" and proceeding with steps

5 d) and e);

-ciii) iteratively repeating the previous steps starting from c1).

A typical characteristic of sensors is that of presenting a certain delay between the time in which the exposure time is set and the time in which the image acquired by means of such setting can be analyzed; this results in a lengthening of the time necessary for determining the correct exposure. Advantageously, the setting of a new exposure time during the analysis of the image acquired with the previously set exposure time allows, hence, to minimize the time needed for determining the optimum exposure time of the sensor.

Preferably, the value of the new exposure time T_n set in step cii) is greater (smaller) than the value T_{n-1} previously set. In fact, such setting simply has a predictive meaning, which could therefore be right or wrong.

Where the characteristic evaluated is the excessive saturation, the times set in all of the predictions are longer than that previously set, trusting that the analysis of the image does not cause saturation; if such prediction comes true, the image will be validly exposed to a correct exposure time, otherwise it would be necessary to decrease the exposure time of the sensor.

In a very similar way, where the characteristic evaluated is the excessive under-exposure, the times set in all of the predictions are shorter than that previously set, trusting that the analysis of the image does not cause under-exposure; if such prediction comes true, the image will be validly exposed to a correct exposition time,

THIS PAGE BLANK (USPTO)

otherwise it will be necessary to increase the exposition time of the sensor.

Preferably, once the optimum exposure time has been found, the following steps are carried out:

- 5 -f) defining a second range of values of exposure time comprising Q prefixed values between a new minimum value and a new maximum value found among the M values of the first range of values and close to the value of the optimum exposure time previously found;
- 10 -g) repeating the previous steps starting from a) until a new optimum exposure time is found;
- h) iteratively repeating the previous steps starting from f), each time defining ranges of values of exposure times shorter and shorter, which are close to the optimum
- 15 exposure times previously found.

It is therefore possible, mainly when there is time available for determining the optimum exposure time, to reiterate at will the process of the invention with the objective of searching the most accurate optimum exposure

20 time. The number of reiterations carried out depends on the time one has available.

In accordance with a preferred embodiment of the process of the present invention, the time necessary for finding the optimum exposure time can be notably reduced if the

25 analysis of the image acquired by the sensor is carried out only on a limited portion of the image itself. It is therefore possible, in equal time, to carry out several reiterations of the process of the invention, so obtaining ever more accurate exposure of the image acquired by the

30 sensor.

Further features and advantages of the process of the present invention will be more clearly apparent from the following detailed description of some preferred embodiments, with reference to the attached drawings. In

THIS PAGE BLANK (USPTO)

such drawings,

- figure 1 shows a flow diagram of a first embodiment of the process of the present invention;
- figure 2 shows a flow diagram relative to a numeric
5 example of the process represented in figure 1;
- figure 3 shows a flow diagram relative to a numeric example of a preferred embodiment of the process in figure 1;
- figure 4 shows a flow diagram relative to a numeric
10 example of a second embodiment of the process of the present invention;
- figure 5 shows a flow diagram relative to a numeric example of a preferred embodiment of the process represented in figure 4;
- 15 - figure 6 schematically shows a circuit for the generation of a comparison signal used in the process of the present invention.

The process of the invention allows, by successive approximations, the determination of an optimum exposure
20 time according to the variations of luminosity of the surface on which the image to be acquired is to be found and of the environment in which the light sensor is located (for example, a CCD or CMOS sensor, whether linear or of matrix type).

25 The process begins with the setting of an initial exposure time in the sensor equal to a value chosen in a first range of M prefixed values which are defined between a minimum value and a maximum value. Advantageously, the M values are a subset, thought to be particularly interesting, of
30 the whole of the settable values of exposure times for the sensor in question and are stated by the manufacturer. In the examples shown in the figures attached, the values of exposure time chosen are eight and are, in fractions of a second: 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000,
35 1/4000.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Once an initial exposure time is set, an image of an illuminated object is acquired by the sensor, for example, an object with an optical code to be read. Such image is analyzed by means of a simple algorithm of calculation in order to determine its level of luminosity and compare it with a prefixed higher or lower global threshold level, representative of an undesired characteristic of the image, for example, a condition of overexposure (saturation) or under-exposure of the image on the sensor.

10 In particular, on the basis of the result of the above mentioned comparison, the exposure time is regulated on a suitable chosen different value and the process is reiterated so as to find, after a certain number of reiterations, an optimum exposure time.

15 The logic of the research of the optimum exposure time carried out by the algorithm of calculation of the invention is that of finding, by successive approximations, the exposure time for which the presence of the undesired condition is manifested and, subsequently, of setting as optimum time the value of time more closer to that found, for which the acquired image does not present the undesired characteristic.

20

More in particular, where the chosen global threshold level is a signal representative of a condition of excessive overexposure (saturation) of the image acquired by the sensor, the algorithm will verify at each reiteration if the level of luminosity of the acquired image is greater than said threshold level (in this case it will be a higher threshold level). If such check has a positive result,

30 this means that the image on the sensor exposed with that determined exposure time will be overexposed, for which therefore a smaller exposure time should be set and the comparison is iteratively repeated for the new exposure time set. The reiteration of the process continues in its search for the optimum exposure time and stops when the

35

THIS PAGE BLANK (USPTO)

exposure time set is the highest, amongst the ones set in the various iterations, for which the image presents a level of luminosity smaller than the prefixed higher global threshold level or, alternatively, when the value of the exposure time set is the minimum within the range of M prefixed values.

If on the other hand the check has a negative result, this means that the image on the sensor exposed with that determined exposure time is not overexposed, and so a greater exposure time is set and the comparison is iteratively repeated for the new exposure time set. The reiteration of the process continues in its search for the optimum exposure time and stops when the exposure time set is the highest, amongst the ones set in the various iterations, for which the image presents a level of luminosity smaller than that of the prefixed higher global threshold level or, alternatively, when the value of the exposure time set is the maximum value within the range of M prefixed values.

Figure 2 shows an example of embodiment of the above disclosed method. In such figure with SAT is indicated the presence of saturation, while SAT indicates the absence of saturation. Note how the algorithm allows to determine the optimum exposure time in four iterations and such time is the longest possible exposure time compatible with non-saturation of the image.

Figure 1 shows an illustrative flow diagram of the process above described. At each prefixed exposure time is associated an index (index_TE) which is variable from 0 to M-1 respectively (the index 0 is associated to the longest exposure time, while the index M-1 is associated to the shortest exposure time), where M is to the power of 2 and is equal to the number of values of prefixed exposure time (in the examples shown M=8).

THIS PAGE BLANK (USPTO)

The above considerations are applicable in dual mode to the case in which the chosen global threshold level is a signal representative of a condition of excessive under-exposure of the image acquired by the sensor (see figure 4). In
5 such case, at each iteration a check of whether the level of luminosity of the acquired image is smaller than the said threshold level (this time it will be a lower threshold level). If such check has a positive result, this means that the image on the sensor exposed with that
10 determined exposure time is underexposed, for which a greater exposure time is set and the comparison is iteratively repeated for the new exposure time set. The reiteration of the process continues in its search for the optimum exposure time and stops when the exposure time set
15 is the lowest, amongst the ones set in the various iterations, for which the image presents a level of luminosity greater than the prefixed lower global threshold level or, alternatively, when the value of the exposure time set is the maximum value of the range of M prefixed
20 values.

If, on the other hand the above check has a negative result, this means that the image on the sensor exposed with that determined exposure time is not underexposed, and so a lower exposure time is set and the comparison is
25 iteratively repeated for the new exposure time set. The reiteration of the process continues in its search for the optimum exposure time and stops when the exposure time set is the lowest, amongst the ones set in the various iterations, for which the image presents a level of
30 luminosity smaller than the prefixed higher global threshold level or, alternatively, when the value of the exposure time set is the minimum value of the range of M prefixed values.

Figure 4 shows an example of embodiment of the above
35 mentioned method. In such figure with UNDER EXP is indicated the presence of under-exposure , while with

THIS PAGE BLANK (USPTO)

UNDER EXP is indicated the absence of under-exposure .
Note how also in this case the algorithm allows to
determine the optimum exposure time in four iterations and
such time is the shortest exposure time possible compatible
5 with the non-underexposure of the image.

With the objective of making the process of the invention
reliable and robust, the evaluation of the level of
saturation (or under-exposure) of the image occurs by
analyzing the levels of luminosity of a plurality of pixels
10 forming said image. In particular, the analysis of the
luminous image includes first of all the generation of a
representative signal of the level of luminosity of each of
the pixels which form the above mentioned image and,
subsequently, a comparison of the luminosity of the single
15 pixels with a prefixed local threshold level representative
of a condition of saturation (or under-exposure) of the
same pixels. Each time the signal representative of the
pixel currently analyzed is found to be greater (smaller)
than the prefixed local threshold level, the contribution
20 of such pixel is accumulated on a storing element and the
next pixel is analyzed until the sum of contributions
stored exceeds the prefixed global threshold level.
Otherwise, if after having analyzed all the pixels of the
image the global threshold is not exceeded, it is
25 considered that there is not saturation (or under-
exposure).

Figure 6 shows a circuit for the generation of a signal
destined to control the change of exposure time because of
the presence of excessive saturation or under-exposure .
30 Essentially this includes two comparative circuits
comprising a generator of voltage V_{cc} , a resistance R and a
condenser C destined to accumulating a determined charge
each time there is saturation of a pixel. In this figure,
with VIDEO is indicated a electric signal proportional to
35 the level of luminosity of the current pixel, with
global_threshold the electric signal proportional to the

THIS PAGE BLANK (USPTO)

undesired threshold level of luminosity of pixel and with global_threshold the electric signal proportional to the undesired threshold level of luminosity of the entire image are respectively indicated.

5 The VIDEO signal of each single pixel is compared to the prefixed local threshold level and, each time such VIDEO signal is greater than said undesired local threshold level, a charge is accumulated in the condenser C. When the voltage at the ends of the condenser exceeds the
10 undesired global threshold level, the SAT (or UNDER EXP) signal is generated which indicates the presence of excessive saturation (or under-exposure) in the image and, therefore, the necessity of setting a different exposure time. Each time a different exposure time is set the
15 charge accumulated in the condenser C is reset for proceeding to the analysis of the acquired image with the new exposure time having just been set.

The sizing of the resistance R and of the condenser C and the choice of the global threshold level mean that there is
20 saturation (or under-exposure) only when a certain percentage of pixels of the image go into saturation (or under-exposure). Therefore, once R and C are fixed, by varying the global threshold level the percentage of pixels which must saturate (or which must be underexposed) for
25 bringing to a reduction (or in the case of under-exposure , an increase) of the exposure time of the sensor is selected.

In an embodiment of the process of the present invention, the fact that all the sensors present a certain delay
30 between the time in which the exposure time is set and the time in which the acquired image by means of such setting can be analyzed, should be taken into account. This means that the time which is necessary for the determination of the optimum exposure time is longer.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

The process of the invention includes, advantageously, the setting of a new exposure time T_n in a period of time "n" whilst the image acquired with the exposure time T_{n-1} set in a previous period of time "n-1" is analyzed (see figures 3 and 4, where in each circle, the value at the top indicates the exposure time currently set (the effect of which will be available in the following period), while the value at the bottom indicates the exposure time set in the previous period and currently analyzed).

10 As a consequence, the decision to change the exposure time of the sensor is taken in a determined period "n" analyzing the image acquired with an exposure time T_{n-1} set in the previous period "n-1". In order to minimize the global time for determining the optimum exposure time, in such
15 period "n" a new exposure time T_n is set on the sensor destined to produce an image to be analyzed in a following period "n+1". The value of the new exposure time T_n set has a meaning of simple prediction, which could be correct or wrong.

20 Where the characteristic evaluated is the excessive saturation, the times set in all of the predictions are longer times than that previously set, trusting that the analysis of the image does not cause saturation; if such prediction should come true, the image will be validly
25 exposed to a correct exposure time, otherwise it will be necessary to decrease the exposure time of the sensor.

In a similar way, where the characteristic evaluated is the excessive under-exposure, the times set in all of the predictions are shorter times than that previously set,
30 trusting that the analysis of the image does not cause under-exposure; if such prediction should come true, the image will be validly exposed to a correct exposure time, otherwise it will be necessary to increase the exposure time of the sensor.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Figures 3 and 4 show with a thicker border the final stages of the process in which the optimum exposure times have been found. It is possible to note how, in the best case where the predictions are all correct, the final result is available after only four exposures, whilst in the worst case of all the predictions being wrong, eight are necessary; in all probability, it is possible to calculate that on average the determination of an optimum exposure time can be reached in six exposures.

- 10 In accordance with a preferred embodiment of the process of the present invention, if there is sufficient time available for the determination of optimum exposure time, it is possible, once an optimum exposure time among the M prefixed values has been found, to reiterate at will the process of searching for a new optimal exposure time which is more accurate. Such search is carried out by selecting a second range of Q prefixed values of exposure time between a new minimum value and a new maximum value and close to the optimum exposure time previously found.
- 20 For example, let us suppose that we have determined 1/500 ($\text{index_TE}=4$) as optimum exposure time amongst the eight values indicated above; it is possible then to define a new range of eight values of exposure time close to 1/500 among which we can search for a more accurate exposure time. For example, it is possible to select as new minimum value and new maximum value of the new range respectively 1/1000 and 1/250 and, similarly with the prefixed values for the first search, the new values of prefixed exposure time would be the following:

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Exposure time (s)	Associated index
1/1000	7
1/750	6
1/625	5
1/500	4
1/437	3
1/375	2
1/312	1
1/250	0

This process can be reiterated at will according to the time available for obtaining a well exposed image.

- 5 The lengthening of the time for determining the optimum exposure time due to the reiteration of the process can be contained if, instead of analyzing the entire image in order to establish if saturation (or under-exposure) is present, such analysis is limited to a limited portion of
- 10 the same.

The most sophisticated sensors in fact allow a portion of sensor dimensionable at will to be analyzed; the time of analysis of such portion depends on its size but in any case is smaller than that necessary for the analysis of the

15 entire image. With such sensors it is therefore possible, in equal time, to carry out more iterations of the process of the invention, so obtaining an exposure of the acquired image from the sensor which is more and more accurate.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

CLAIMS

1. Process for regulating the exposure time of a light sensor, characterized in that it comprises the following steps:

- 5 -a) setting the exposure time of the sensor to a value selected in a first range of values defined between a minimum value and a maximum value and comprising M prefixed values;
- 10 -b) acquiring the image of an object onto the sensor, such image comprising a plurality of pixels;
- c) analyzing the acquired image for detecting the level of luminosity of the same;
- d) comparing the detected level of luminosity with a prefixed higher (lower) global threshold level
- 15 representative of a condition of overexposure (under-exposure) of the image;
- e) varying the exposure time of the sensor and iteratively repeating the previous steps until an optimum exposure time equal to the higher (lower) exposure time is found, among
- 20 the ones set, for which the image presents a level of luminosity smaller (greater) than the prefixed higher (lower) global threshold level.

2. Process according to claim 1, wherein step d) of comparison between the detected level of luminosity and the

25 higher (lower) global threshold level comprises the following steps:

- d1) verifying if the level of luminosity of the acquired image is greater (smaller) than the prefixed higher (lower) global threshold level, and:

30 -d11) if such verification has a positive result, decreasing (increasing) the exposure time of the sensor and iteratively repeating the previous steps starting from b) until an optimum exposure time is found when, alternatively:

35 -d11a) the value of the exposure time set is the minimum (maximum) of the range of prefixed values;

THIS PAGE BLANK (USPTO)

-d11b) the value of the set exposure time is such that the image presents a level of luminosity smaller (greater) than the prefixed higher (lower) global threshold level.

3. Process according to claim 2, wherein, if the
5 verification of step d1) has a negative result, the following steps are carried out:

-d12) increasing (decreasing) the exposure time of the sensor and iteratively repeating the previous steps starting from b) until an optimum exposure time is found
10 when, alternatively:

-d12a) the value of the exposure time set is the maximum (minimum) of the range of prefixed values;

-d12b) the value of the exposure time set is such that the image presents a level of luminosity smaller (greater)
15 than the prefixed higher (lower) global threshold level.

4. Process according to claim 1, wherein step c) of analyzing the image for detecting its level of luminosity comprises the following steps:

-c1) generating a signal representative of the level of
20 luminosity of each pixel of the image acquired by the sensor;

-c2) verifying subsequently if the signal generated in correspondence to a current pixel is greater (smaller) than a prefixed higher (lower) global threshold level
25 representative of a condition of overexposure (under-exposure) of the analyzed pixel, and:

-c21) if such verification has a positive result, accumulating the contribution of the current pixel and iteratively repeating the previous steps starting from c2)
30 for the following pixels;

-c22) if such verification has a negative result, releasing the current pixel and iteratively repeating the previous steps starting from c2) for the following pixels;

-c3) verifying if the sum of the contributions
35 accumulated is greater (smaller) than the prefixed higher (lower) global threshold level of the image, in such case

THIS PAGE BLANK (USPTO)

carrying out step e), otherwise repeating the previous steps starting from c2).

5 5. Process according to claim 1, wherein step c) of analyzing the image acquired by the sensor comprises, in turn, the following steps:

-ci) analyzing, in a period of time "n", the image acquired by the sensor exposed with an exposure time T_{n-1} set in the time "n-1";

10 -cii) setting, in the time "n", a new exposure time T_n in order to acquire on the sensor an image which is destined to be analyzed in the time "n+1" and proceeding with steps d) and e);

-ciiii) iteratively repeating the previous steps starting from c1).

15 6. Process according to claim 5, wherein the value of the new exposure time T_n set in step cii) is greater (smaller) than the value T_{n-1} previously set.

20 7. Process according to claim 1, wherein once the optimum exposure time has been found, the following steps are carried out:

-f) defining a second range of values of exposure time comprising Q prefixed values between a new minimum and a new maximum value found among the M values of the first range of values and close to the value of the optimum exposure time previously found;

-g) repeating the previous steps starting from a) until a new optimum exposure time is found;

25 -h) iteratively repeating the previous steps starting from f), each time defining ranges shorter and shorter which are
30 close to the optimum exposure time previously found.

8. Process according to claim 1, wherein the analysis of the image acquired by the sensor is carried out on a limited portion of the image itself.

THIS PAGE BLANK (usprto)

SUMMARY

This invention relates to a process for regulating the exposure time of a light sensor, characterized in that it comprises the following steps:

- 5 -a) setting the exposure time of the sensor to a value selected in a first range of M prefixed values defined between a minimum and a maximum value;
- b) acquiring an image of an object on the sensor, such image comprising a plurality of luminous pixels;
- 10 -c) analyzing the acquired image in order to detect its level of luminosity;
- d) comparing the detected level of luminosity with a prefixed higher (lower) global threshold level representative of a condition of overexposure (under-
- 15 exposure) of the image;
- e) varying the exposure time of the sensor and iteratively repeating the previous steps until an optimum exposure time equal to the highest (lowest) exposure time is found, amongst the ones set, for which the image presents a level
- 20 of luminosity which is smaller (greater) than the prefixed higher (lower) global threshold level.

(Fig. 1)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

1/4

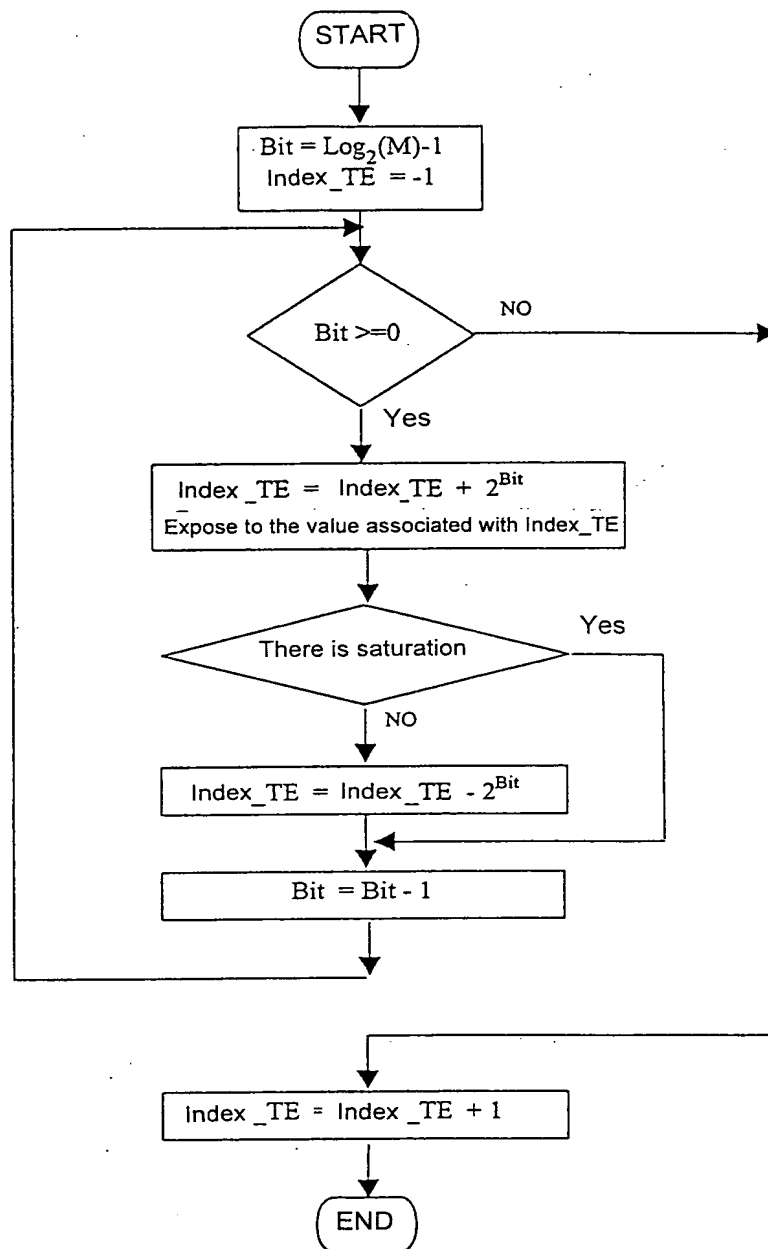


Fig. 1

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Diagram illustrating the probability tree for a 7-bit SAT test, showing the relationship between the probability of a SAT result and the Index_{TE} value.

The tree structure is as follows:

- Root node: $1/250$
 - SAT branch ($1/1000$)
 - SAT branch ($1/2000$)
 - SAT branch ($1/4000$) → Index_{TE}=7
 - SAT-bar branch ($1/2000$) → Index_{TE}=6
 - SAT-bar branch ($1/500$)
 - SAT branch ($1/1000$) → Index_{TE}=5
 - SAT-bar branch ($1/500$) → Index_{TE}=4
 - SAT-bar branch ($1/60$)
 - SAT branch ($1/125$)
 - SAT branch ($1/250$) → Index_{TE}=3
 - SAT-bar branch ($1/125$) → Index_{TE}=2
 - SAT-bar branch ($1/30$)
 - SAT branch ($1/60$) → Index_{TE}=1
 - SAT-bar branch ($1/30$) → Index_{TE}=0

The graph illustrates the evolution of a population over time, with nodes representing the state of the population at each step. The nodes are labeled with two fractions, likely representing the proportion of two types in the population. The edges are labeled 'SAT' or 'SAT' with a bar over it, indicating the type of selection or event occurring.

The nodes and their connections are as follows:

- Top Left:** A node with $\frac{1/1000}{1/60}$ is connected to a node with $\frac{1/500}{1/1000}$ by a 'SAT' edge.
- Top Right:** A node with $\frac{1/2000}{1/500}$ is connected to a node with $\frac{1/2000}{1/2000}$ by a 'SAT' edge.
- Middle Left:** A node with $\frac{1/250}{1/250}$ is connected to a node with $\frac{1/60}{1/250}$ by a 'SAT' edge. The node $\frac{1/250}{1/250}$ is also connected to a node with $\frac{1/30}{1/80}$ by a 'SAT' edge.
- Middle Right:** A node with $\frac{1/500}{1/500}$ is connected to a node with $\frac{1/1000}{1/500}$ by a 'SAT' edge. The node $\frac{1/500}{1/500}$ is also connected to a node with $\frac{1/500}{1/500}$ by a 'SAT' edge.
- Bottom Left:** A node with $\frac{1/30}{1/80}$ is connected to a node with $\frac{1/125}{1/30}$ by a 'SAT' edge. The node $\frac{1/30}{1/80}$ is also connected to a node with $\frac{1/30}{1/30}$ by a 'SAT' edge.
- Bottom Right:** A node with $\frac{1/125}{1/125}$ is connected to a node with $\frac{1/250}{1/125}$ by a 'SAT' edge. The node $\frac{1/125}{1/125}$ is also connected to a node with $\frac{1/60}{1/60}$ by a 'SAT' edge.

The nodes are arranged in a hierarchical structure, with the top left node being the root of the main branch. The nodes are connected by edges labeled 'SAT' or 'SAT' with a bar over it, indicating the type of selection or event occurring.

Fig. 3

THIS PAGE BLANK (USPTO)

3/4

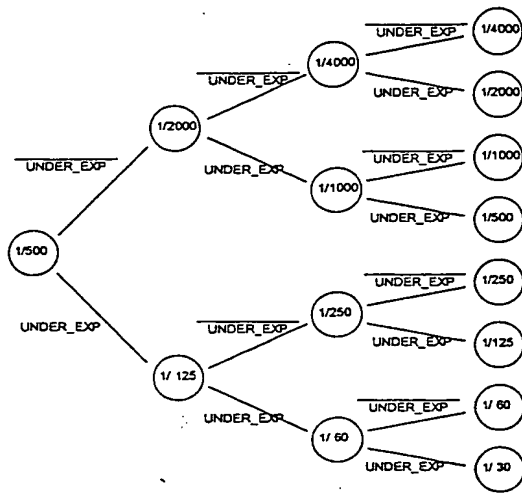


Fig. 4

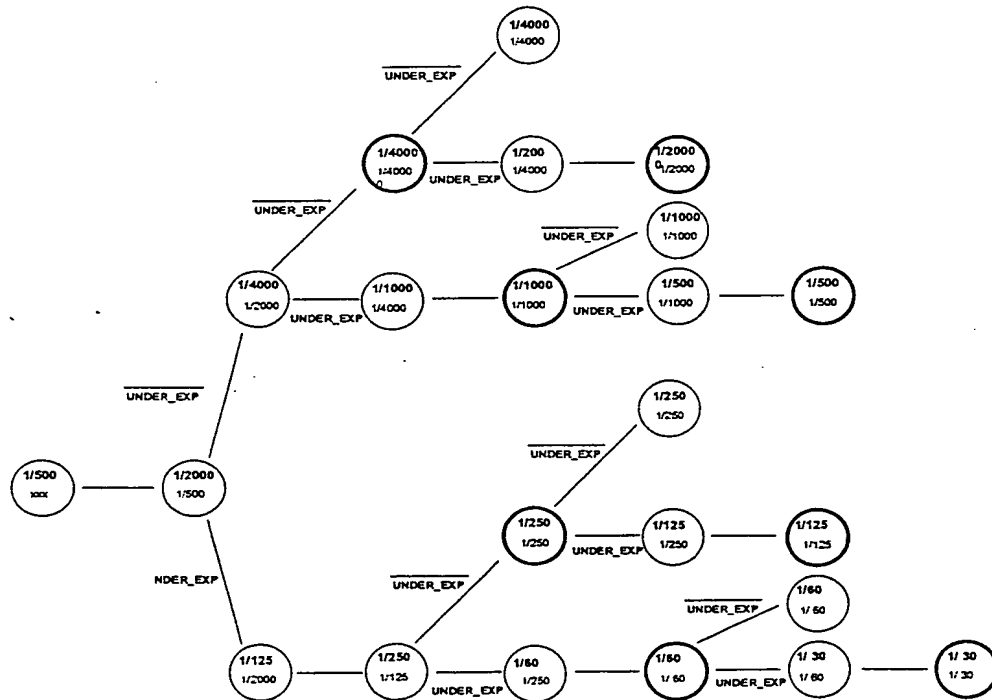


Fig. 5

THIS PAGE BLANK (USPTO)

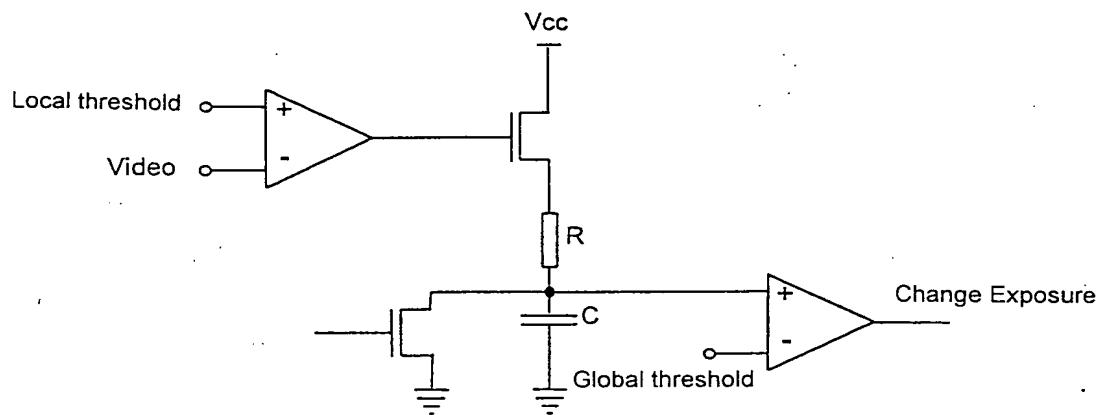


Fig. 6

THIS PAGE BLANK (USPTO)